

Camada Física da Computação

Aula 23 – Modulação Digital

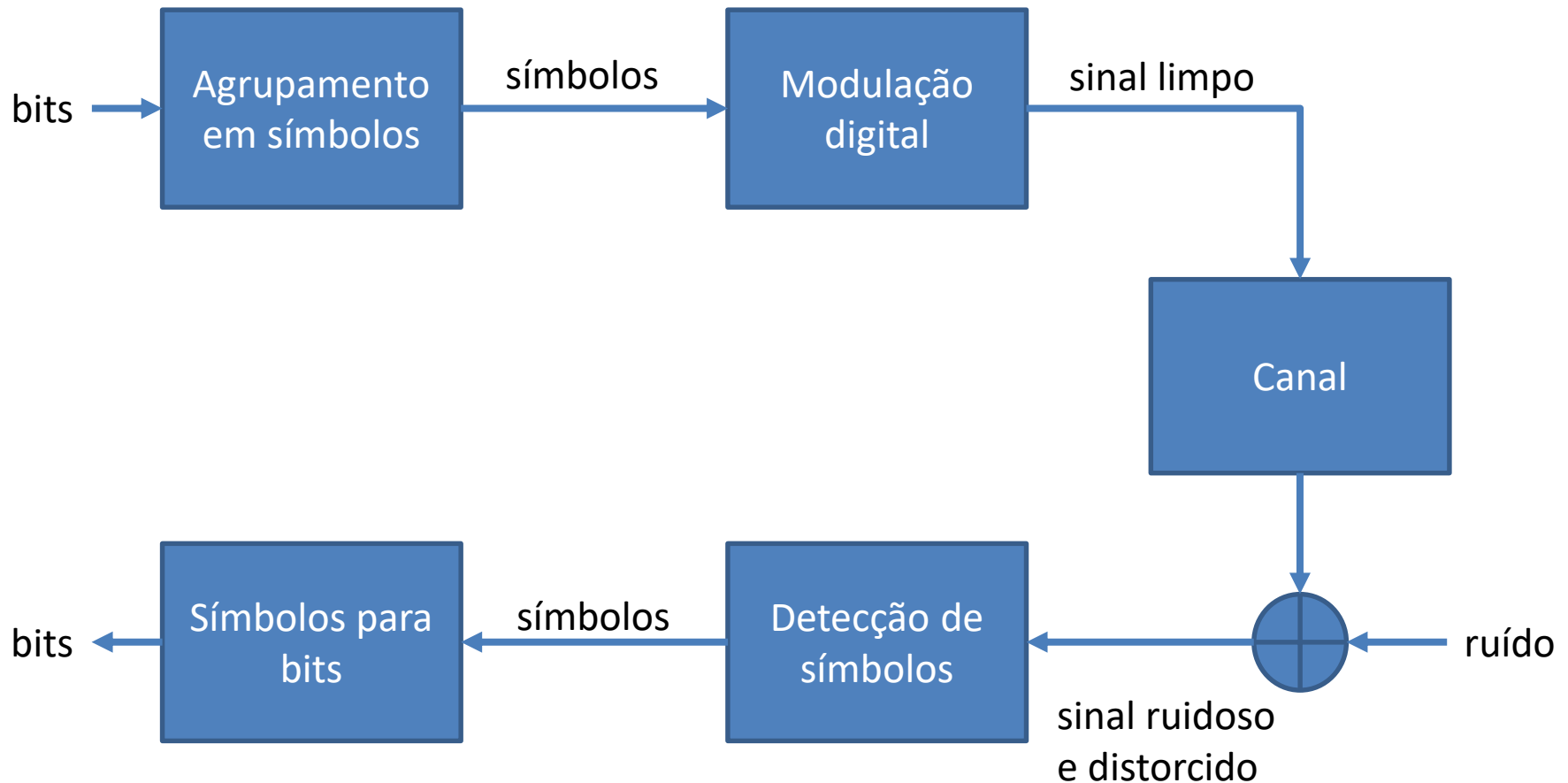
2016 – Engenharia

Fábio Ayres <fabioja@insper.edu.br>

Objetivos



Transmissão digital



Transmissão digital

- A entrada do sistema é um *stream* de bits
- Agrupam-se estes bits em *símbolos*
- Cada símbolo é transformado em um segmento de sinal analógico
- O sinal recebido é o sinal transmitido que foi distorcido pelo canal e que recebeu ruído adicional
- Detectam-se os símbolos a partir do sinal recebido. Podem haver erros.
- Os símbolos são transformados novamente em bits.

Símbolos

- Conjuntos de um ou mais bits
- Pode ser simplesmente 1 bit/símbolo, ou podemos ter mais bits por símbolo.
- Exemplo: modulação QPSK

Bit 0	Bit 1	Símbolo
0	0	S_0
0	1	S_1
1	0	S_2
1	1	S_3

Exercício

- Qual a sequência de símbolos para as streams de bits abaixo, na modulação QPSK?

0101001011110110

Resposta

01 01 00 10 11 11 01 10
 S_1 S_1 S_0 S_2 S_3 S_3 S_1 S_2

Modulação digital

Para entender a transmissão digital, vamos começar pela modulação:

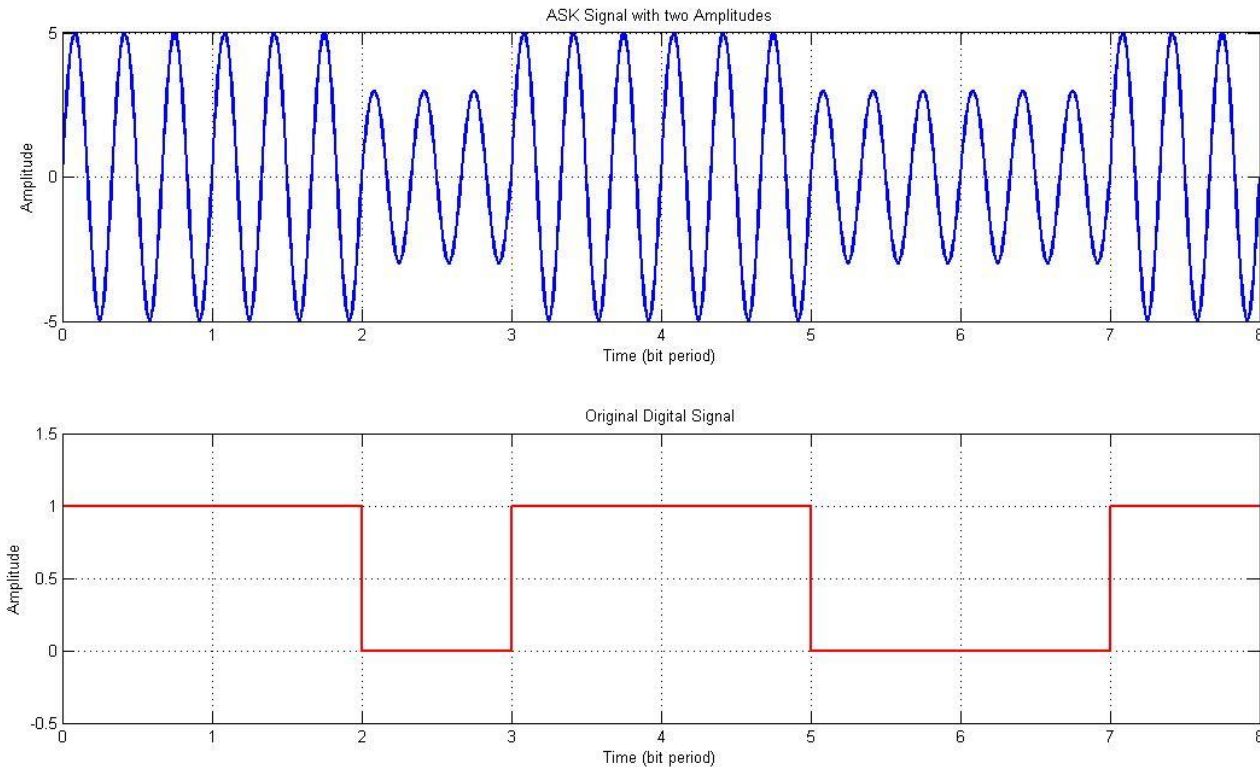
- Para cada símbolo, gerar um segmento de sinal analógico.

Modulação digital

- Principais modulações:
 - ASK – Amplitude Shift Keying (Modulação em amplitude)
 - PSK – Phase Shift Keying (Modulação em fase)
 - FSK – Frequency Shift Keying (Modulação em frequência)
 - QAM – Quadrature Amplitude Modulation (Uma combinação de modulação em amplitude e fase)

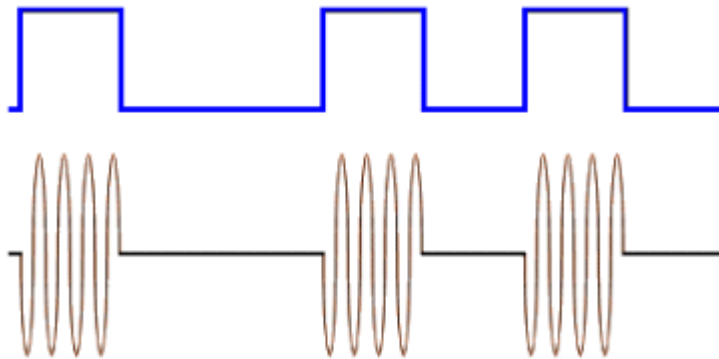
Amplitude Shift Keying

- Amplitudes diferentes para símbolos diferentes

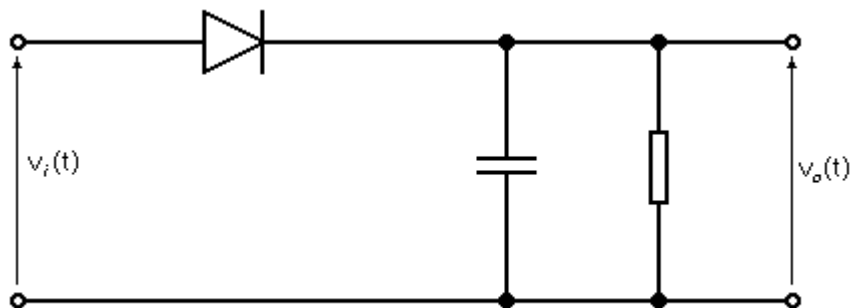


On/Off keying (OOK)

- Caso limite do ASK

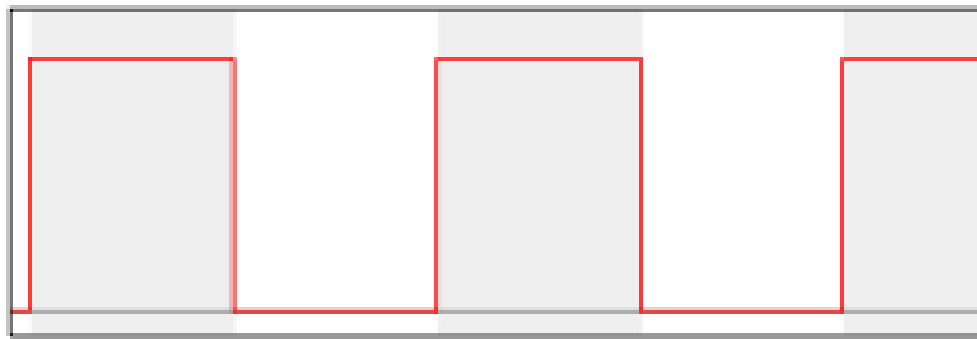


Exemplo de modulação OOK

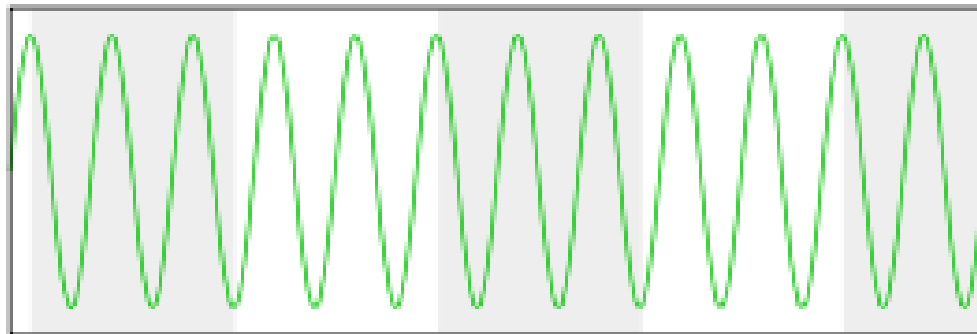


Circuito demodulador simples

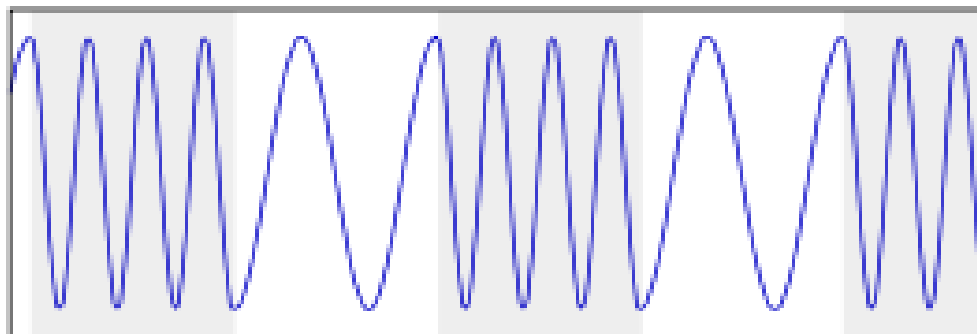
Frequency shift keying



Data



Carrier

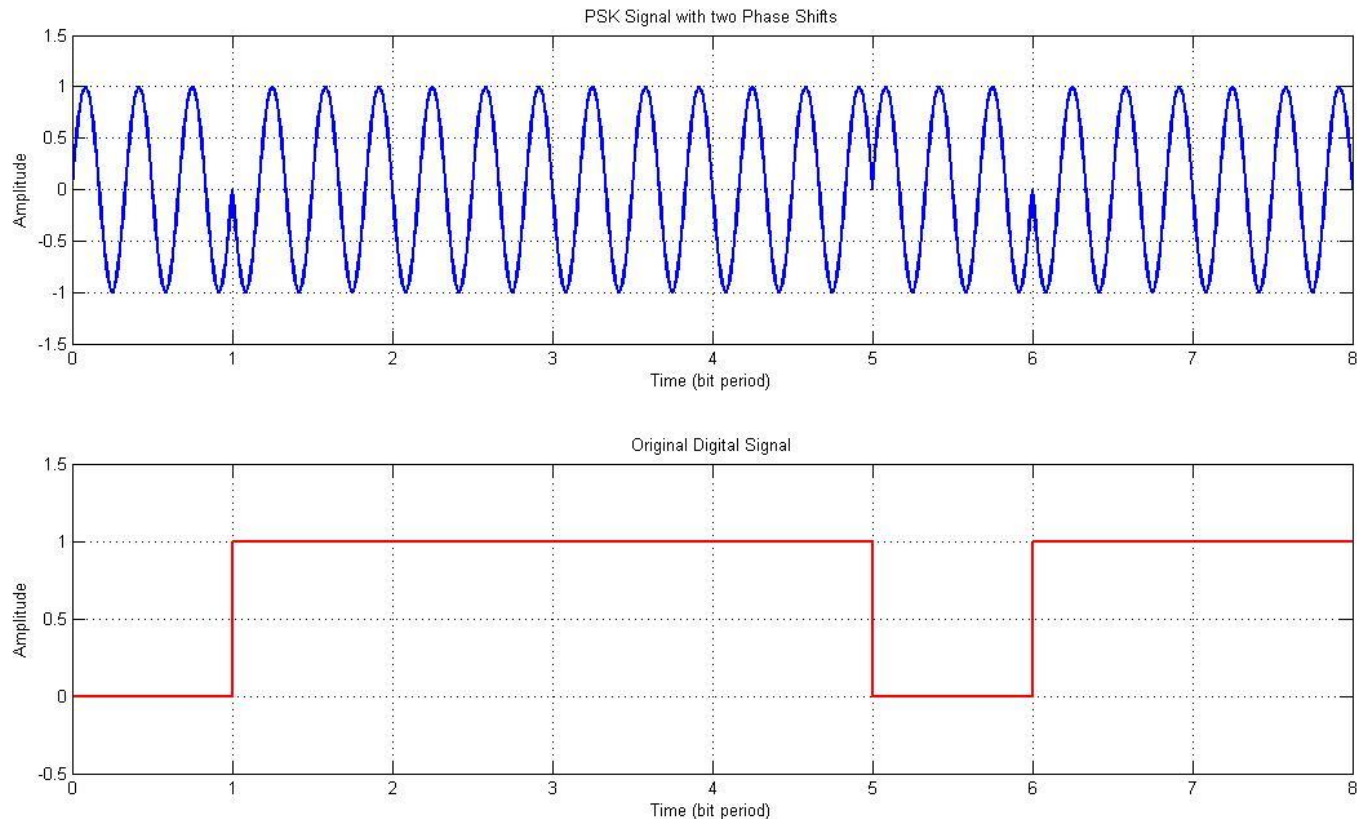


Modulated Signal

Frequências diferentes para cada símbolo

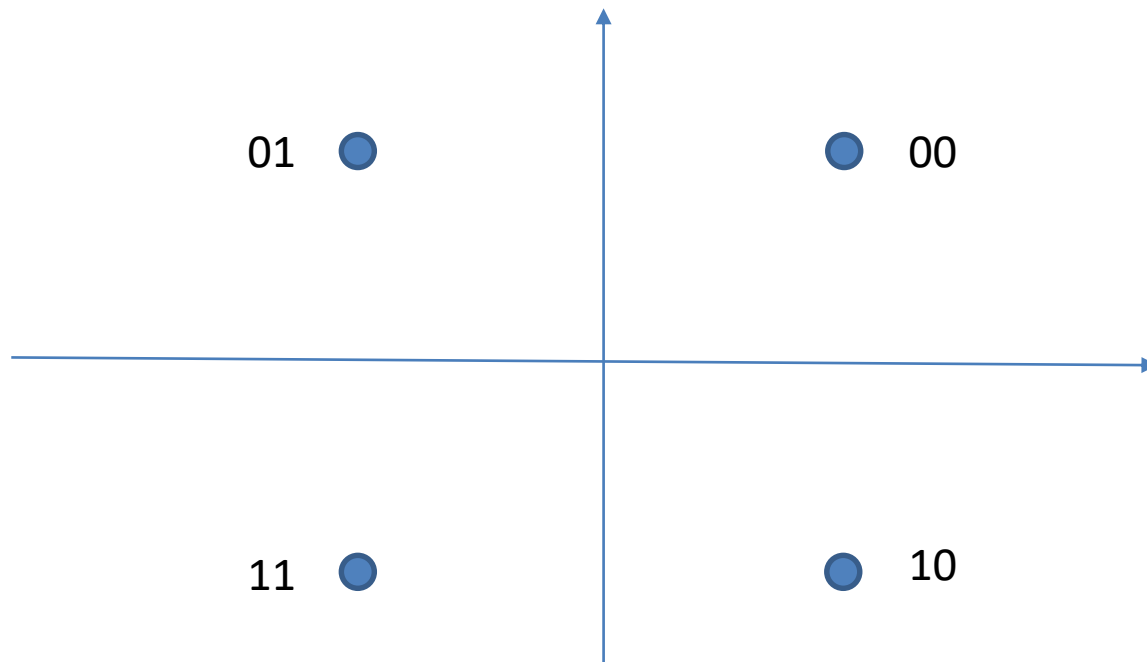
Phase shift keying

- Muda a fase da portadora para cada símbolo



Exemplo: QPSK

Bit 0	Bit 1	Simbolo	Fase
0	0	00	45°
0	1	01	135°
1	1	11	225°
1	0	10	315°

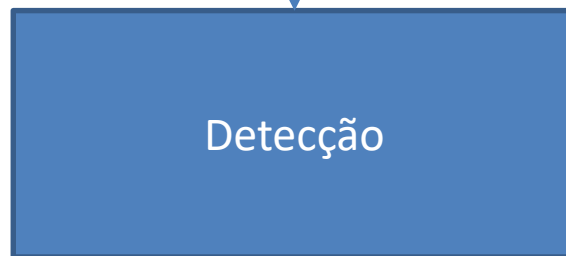
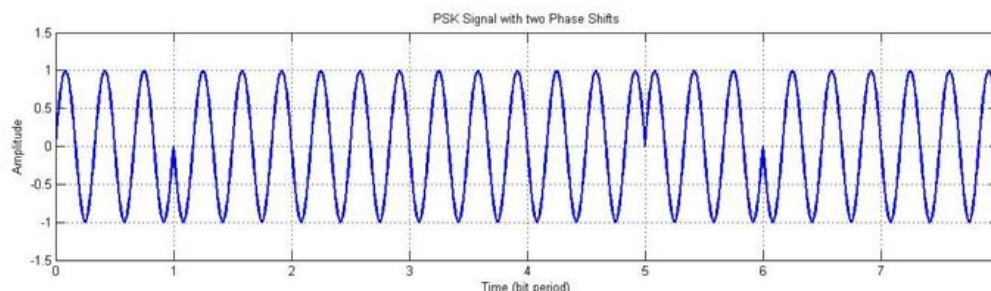


Em resumo

Sistema	Fórmula
ASK	$x_i(t) = A_i \cos(2\pi f_0 t)$
FSK	$x_i(t) = A \cos(2\pi(f_0 + \Delta f_i)t)$
PSK	$x(t) = A \cos(2\pi f_0 t + \phi_i)$

Detecção de símbolos

- Procura decidir qual foi o símbolo transmitido a partir do símbolo recebido.



01111011

Erros de recepção e relação sinal-ruído

- A presença de ruído pode ocasionar a detecção de um símbolo falso, que difere do símbolo transmitido
- Quanto maior o ruído, maior a taxa de erros por bit (ou por símbolo) transmitido

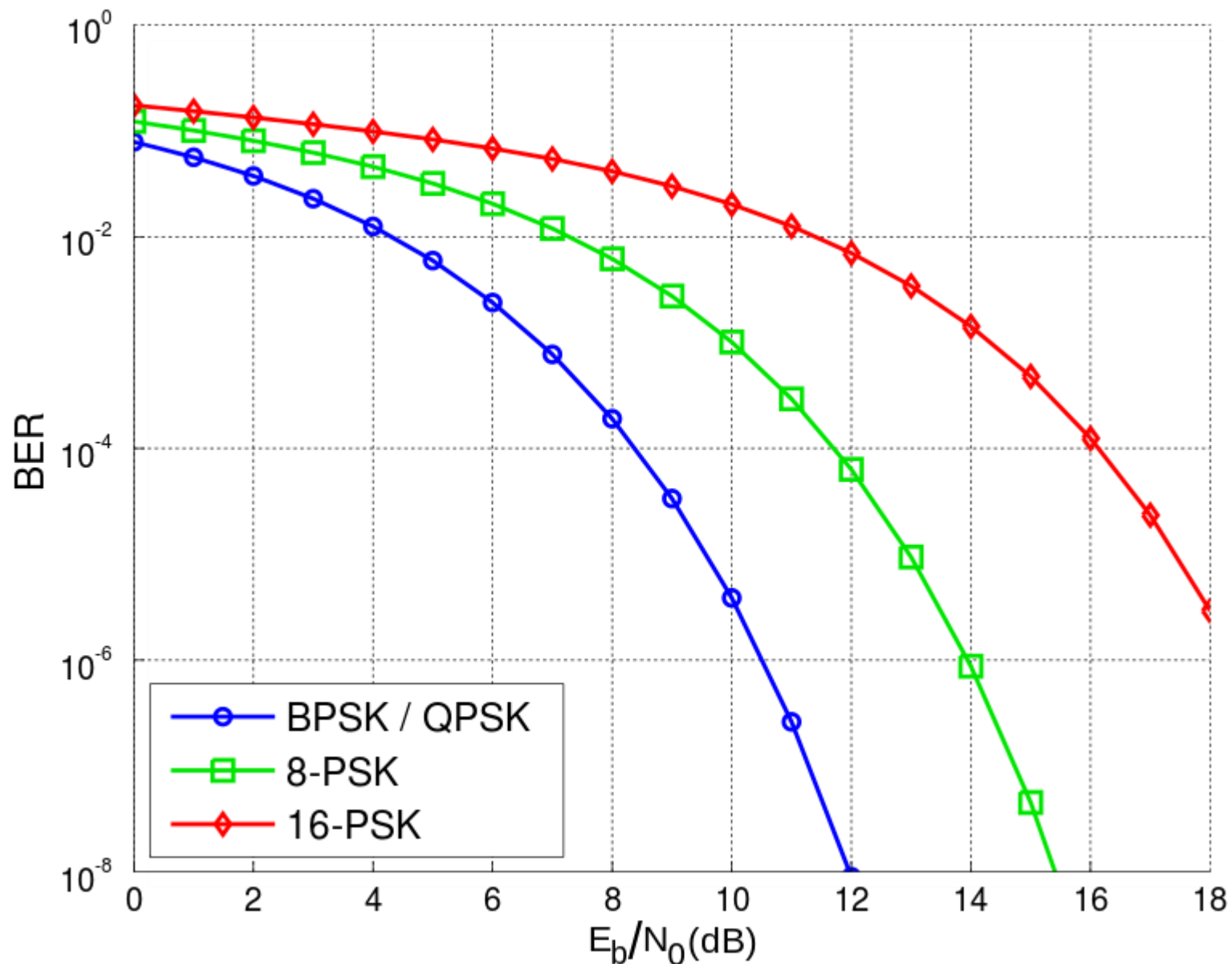
Erros de recepção e relação sinal-ruído

- Geralmente representado pela taxa de erro de bit versus relação sinal-ruído
- Em inglês: bit error rate (BER) versus signal-to-noise ratio (SNR)

Erros de recepção e relação sinal-ruído

- Também representado pela BER versus **SNR por bit**: E_b/N_0
- E_b : energia do sinal por bit
- N_0 : energia do ruído por bit

BER vs SNR



Exercício

- Se a relação sinal-ruído for 10dB, quantos bits errados podemos esperar, em média, ao transmitir um arquivo de 1MB usando modulação 8-PSK?

Insper

www.insper.edu.br

Apêndice: Bluetooth

Agora conseguimos (quase) ler a Wikipedia!

<https://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#Implementation>

- Bluetooth operates at frequencies
 - between 2402 and 2480 MHz,
 - Or 2400 and 2483.5 MHz including guard bands
 - 2 MHz wide at the bottom end
 - and 3.5 MHz wide at the top.^[15]
- This is in the globally unlicensed (but not unregulated) Industrial, Scientific and Medical ([ISM](#)) 2.4 GHz short-range radio frequency band.

Bluetooth

- Bluetooth uses a radio technology called **frequency-hopping spread spectrum**.
 - Bluetooth **divides transmitted data into packets**, and
 - **transmits each packet on one of 79 designated Bluetooth channels**.
 - Each channel has a bandwidth of **1 MHz**.
 - It usually performs 800 hops per second, with Adaptive Frequency-Hopping (AFH) enabled.
 - Bluetooth low energy uses **2 MHz** spacing, which accommodates **40 channels**.

Bluetooth

- Originally, Gaussian **frequency-shift keying** (GFSK) modulation was the only modulation scheme available.
- Since the introduction of Bluetooth 2.0+EDR,
 - **$\pi/4$ -DQPSK**(Differential Quadrature **Phase Shift Keying**) and
 - **8DPSK** modulationmay also be used between compatible devices.